

터널 조명 설계에 대한 KSC 3703 활성화와 에너지 절감 방안

Content

- 1. 국내 터널 설계 상황
- 2. KSC 및 CIE
- 3. CIE88을 이용한 외국 설계 사례
- 4. KSC에 의한 전반적 적용
- 5. 플리커(Flicker Range) 대책 및 기타
- 6. KSC와 KSC의 차이점 비교
- 7. 설계 적용
- 8. 참고 문헌



글 _ 유철수 (No. 131590)
한빛디엔에스(주) 전무 / 협회교육강사

1. 국내 터널 설계 상황

KSC3703과 CIE88_2004에 의한 터널 조명 설계 방법을 소개하고 그에 따른 에너지 절감을 위한 적용 내용을 설명함으로써 국제화 시대의 새로운 터널 조명 설계를 지향하는 국내 기술 기준 KSC3703을 좀더 이해하는 데 도움이 되었으면 한다.

과거 KSA3703에 의한 터널 조명 설계 방법은 일본 JISZ9116을 토대로 한 규격이었는데, 일본에서는 1970년대부터 일본도로협회에서 JISZ9116의 틀을 유지하면서 별도로 해설서를 만들어 JISZ9116에 규정된 내용보다 훨씬 낮은 휘도 상태 JISZ9116에 의하면 설계속도 100km/m²일 때 140cd/m²가 최소 휘도인 데 이를 95cd/m²로 설계해 왔으며, 주간 조명 제어 즉 휘도계 또는 조도계에 의한 단계별 조명 제어는 100%, 75%, 50%, 25%, 기본조명으로 5단계로 구성되어 설계하도록 되어 있다.

아래 설명하는 과정에서는 특별한 경우를 제외하고는 기술 규격 KSA3703, KSC3703, JISZ9116, CIE88_2004는 각각 KSA, KSC, JIS, CIE로 표기하기로 한다.

터널 조명 설계는 KSA, JIS, KSC, CIE 어느 규격을 보나 모두 경계부의 '휘도%' 및 편대수 방식으로 설명 및 내용 전개 되고 있음을 상기할 필요가 있다.

국내에서는 대부분의 경우 140cd/m²를 기준으로 노면 재질에 따라 휘·조도 환산계수를 콘크리트의 경우 13, 아스팔트의 경우는 18을 곱하여 조도와 편대수가 아닌 보통 눈금 방식으로 설계를 해 오고 있다.

휘도 자체보다는 터널 내부에서의 조명 상황은 터널 입구부에서의 기상 변화에 의한 야외휘도변화에 따라, 운전자가 터널

을 지나기 위하여 운전자의 육안에 의한 터널 진입시부터 발생하는 순응도가 문제이기 때문에 이를 비율적 즉 백분율로 계산하여 터널 진입부 및 입구의 휘도 변화에 의한 터널 입구부 및 출구부에 대한 검토가 중요하다고 본다.

다시 말하면 위의 규격들에서와 같이 '휘도%'로 설계하여 각 규격마다 정해진 그래프를 적용하되 각국의 실정에 맞게, 휘도가 되었든, 조도가 되었든 그 백분율에 곱하여 환산한 후 실제 적용은 경계부 휘도(L₂₀법 등)만 결정되면 이를 100%로 하여 모든 것을 위의 각각의 규격에 따라 적용, 기준 설계하여, 적용하려는 등기구 종류, 광속량, 직사조명률과 설치 위치에 따른 등기구 각각의 조명률 계산하여 실제 설계에 적용하면 된다.

예를 들어 경계부 100%, 계단식 제어에 의해 설정된 다음 계단을 83%로 정했다면 사실 이는 임의로 정하는 게 아니라 사용하는 규격에 따라 길이를 조정하면 자동적으로 정해진단 경계부의 휘도를 L₂₀법 또는 각 규격에 주어진 Table 또는 적용 규칙에 따라 100%를 200cd/m²를 선정하였다고 하면, 경계부 휘도는 200cd/m², 그 다음 계단은 200×0.83=166cd/m²로 휘도 환산하여 설계 기준을 정하여 전개하고, 또 조도로 계산하고 싶으면 노면 재질에 따라 여기서는 아스팔트라면 200×18=3,600Lx, 그 다음 단계는 200×0.83×18=2,988 Lx로 하여 모든 것을 조도로 전개하면 될 것이다.

따라서 본 내용에서는 모든 규격 또는 기술 서적에 나와있는 내용과 같이 '휘도%'로 설명하기로 한다.

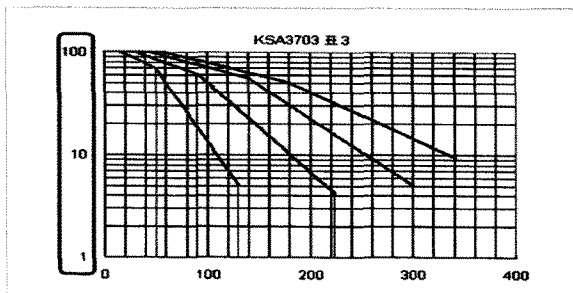
터널에 대한 토목 기초 자료 설계 속도, 교통량, 터널 형상, 구배, 터널 방향, 터널내 벽면 재질, 통행 상태(양방향, 단방향), 진출입부 등을 토대로 야외 휘도를 계산 또는 규격에 주어진

그림 또는 표에서 찾아서 적용하여 설계 기준을 설정하여 앞에서 설명한 것처럼 등기구 위치 및 방향, 또 등기구의 광속량 및 배광 곡선 등을 참조하여 등기구를 배치하면 될 것이다.

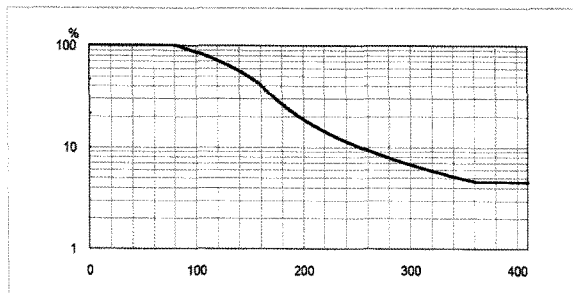
터널 조명 설계에서 제일 중요한 사항은 무엇보다도 경계부의 휘도(L_{th})를 결정하는 일인데, CIE에서는 L_{20} 법 외에 터널 입구부에 2도 각도의 동심원과 12분할하여 터널 입구의 각 분할별로 하늘, 초목, 건물 등이 차지하는 비율을 계산하여 L_{seq} 값을 정하여 L_{th} 값을 계산해 내는 Veiling Luminance Method와 카메라로 사진을 찍어 계산하는 방법 등을 자세하게 설명하여 놓았는데, KSC에서는 L_{20} 법 및 카메라로 사진을 찍어 정하라고만 되어 있고, L_{20} 법에 의한 상세 내용이나 카메라로 찍어 어떻게 처리하라는 내용은 없다.

지금까지 국내에서 설계시에 적정한 값(설계속도 100km/h 일 때 140cd/m²)에 노면 재질이 콘크리트이면 13, 아스팔트이면 18을 곱하여 1820Lx, 2520Lx로 환산하여 '조도'로 설계하는 예가 보통이며, 설계자가 정한 설계 기준이나 실제 설계 내용 단계별 또는 구간별을 KSA 또는 KSC 규격에 주어진 곡선(편대수)과 동시 구현하여 표시하지 않고 보통 눈금 방식으로 계산된 값만 표현하여 진행해 왔다.

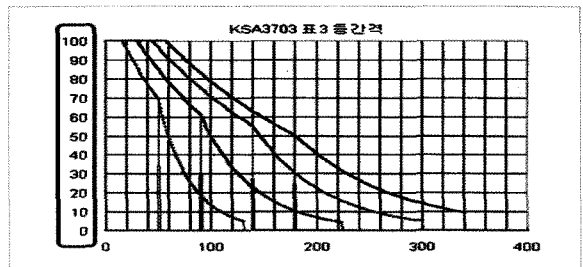
KSA에 의한 그림 1과 같은 편대수 방식이나 KSC에 의한 그림 2, 또 KSA에 의한 보통 눈금 방식인 그림 3과 동시에 표현하여야 하는 데 그림 4와 같이 단순하게 설계자가 정한 설계 기준과 등기구 배치에 의한 내용만 표현하는 것이다.



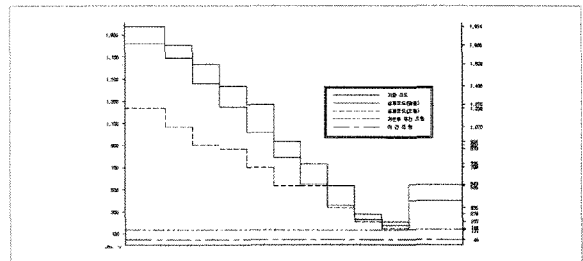
【그림 1】 KSA에 주어진 입구부 터널 조명 - 편대수와 휘도% 표현



【그림 2】 KSC에 주어진 입구부 터널 조명 - 편대수와 휘도% 표현 (100km/h일 때)

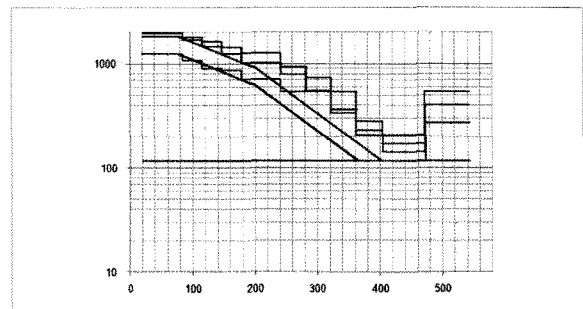


【그림 3】 KSA에 주어진 입구부 터널 조명 - 보통 눈금과 휘도% 표현

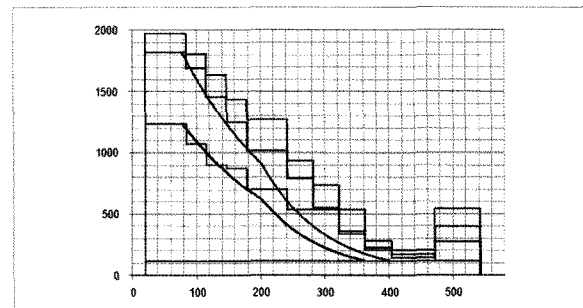


【그림 4】 KSA에 의한 국내 설계 예 : 조도에 의한 보통 눈금이며, KSA 곡선과 동시 구현하지 않아 KSA 정상 구현 여부 확인 불가

그림 4를 KSA와 동시 구현해 보면 아래 그림 5, 그림 6과 같다. KSA 규격보다 과다 설계되었음을 확연히 구별할 수 있다.



【그림 5】 동시 구현 - 편대수 방식에 의거



【그림 6】 동시 구현 - 보통 눈금 방식에 의거

그러나 국내, 국제 규격에서는 모든 사항을 '휘도%'와 편대수 방법으로 표현되어 있고 계산되는 것이다. 방법은 그렇다 하더라도 어떠한 방법으로도 L_{th} 값을 계산하여 정해주어야 터

널 조명 설계를 시작할 수 있다.

등기구의 배열에서 기본 구간에 설치하는 등기구 간격을 얼마로 할 것인가가 중요하다. 터널 전 구간에 걸쳐 이 구간 길이는 변동될 수 없으며, 플리커 대책도 바로 기본부 조명 즉 전 구간에 대한 기본 조명과 밀접한 관계가 있다.

경계부에서는 그 구간내에 소요 휘도량을 맞추기 위하여 어떤 용량의 등기구를 넣어야 하며 그에 따른 5단계, 3단계 제어를 어떻게 하여 단계별 휘도를 맞춰 갈 것인가이다.

여기서 3, 5단계의 의미는 조도/휘도계에 의한 조명 제어의 의미한다. 즉 일출 후부터 일몰까지 햇빛이 있을 때에만 조도/휘도계가 동작되고 야간에는 타이머에 의한 조명 제어 즉 기본 조명에 대한 격등 또는 격격등 점등, 소등이기 때문이다. 우리는 현재 맑은날, 흐린날, 주간, 야간, 심야로 5단계 제어라 부르는 경우가 있으나 본 내용에서 보면 이는 3단계 정도의 의미라고 보면 된다.

2. KSC 및 CIE

CIE에서는 긴 터널에 대하여서도 2가지로 구분하여 기본부 조명을 2단계로 나누고 있다. (CIE Sec 1., 표6.7.1. 표6.7.2)

【표 1】 CIE에 보인 내용

Table 6.7.1. Luminance values in cd/m ² in the interior zone (long tunnels).		
Stopping Distance (m)	LONG TUNNELS Traffic flow (vehicles/hour/lane)	
	Low	Heavy
160 m	6	10
60 m	3	6

Table 6.7.2. Luminance values in cd/m ² in the second part of the interior zone (very long tunnels).		
Stopping Distance (m)	VERY LONG TUNNELS Traffic flow (vehicles/hour/lane)	
	Low	Heavy
160 m	2.5	4.5
60 m	1	2

또한 긴 터널과 짧은 터널의 구분에서는 운전자가 터널 입구의 어느 지점에서 출구부가 보이지 않는다면 비록 길이가 짧더라도 긴 터널로, 긴 터널이라도 출구부가 보인다면 짧은 터널로 간주하여 출구부 조명 설계를 하도록 권장하고 있다. (CIE Sec 4.)

또한 75m 이하 터널에는 주간 조명이 필요치 않은 것으로 되어 있다. (CIE Sec 4. Note)

터널 출구부 조명 설계에 대해서도 생각해 보면, 국내 터널의 경우 대략 설계속도 100km/h일 때 500m이상의 경우 출구부 조명 설계를 하는 것으로 되어 있다.

즉 설계 속도별로 차이는 있으나 터널 길이가 입구부(경계부

+ 이행부) 조명 설계 길이 이상이고 KSA의 경우 출구부 조명 구간 길이를 70m로 되어 있으므로 입구부 조명 구간 길이와 출구부 조명 구간 길이(70m)의 합보다 길면 거의 모두 출구부 조명 설계 적용을 하고 있는 것이다

KSC에서는 출구부 휘도는 기본부 휘도에서 시작하여 출구 접촉부 전방 20m 지점의 휘도가 기본부 휘도의 5배가 되도록 '단계적으로 상승' 시킨다. (KSC 6.6 (2))

또 터널의 출구 가까이 혹은 기본부가 긴 터널 내에서 추가적인 위험이 예견되는 상황에서는 출구부 휘도를 정지거리만큼 '점차적으로 증가' 시키는 것이 바람직하다. (KSC 해설 5.5 (2))로 출구부 조명에 대하여 언급되어 있는데

이를 잘 살펴보면 본문에는 '단계적으로 상승'으로, 해설에는 '점차적으로 증가'로 설명되어 있고 CIE에서는 터널 출구 가까이에서 추가적인 위험이 예상되는 경우와 기본부가 긴 경우에만 '선형적으로 구형' 하라고 되어 있다. (CIE 6.8)

KSC와 CIE의 문장의 뉘앙스가 다르다. KSC는 무조건 출구부 조명을 설치하라는 개념이 강하고, CIE는 두가지 경우는 출구부 조명을 설치하는 게 바람직하다는 것이다. 따라서 해외 프로젝트의 경우 국내 KSC 기준으로 바라보면 착오가 일어날 수가 있다.

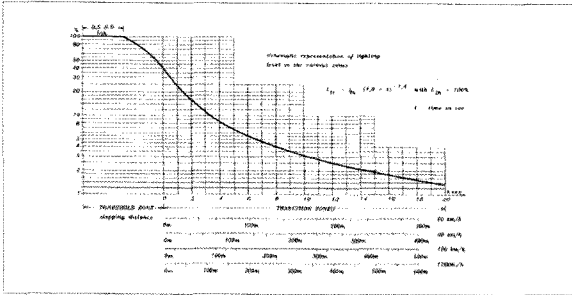
아래 CIE 원문을 참고하기 바란다.

tunnel. In situations where additional hazards are expected near the exit of the tunnel and in tunnels where the interior zone is long, it is recommended that the daytime luminance in the exit zone increases linearly over a length equal to the SD (before the exit portal), from the level of the interior zone to a level five times that of the interior zone at a distance of 20 m from the exit portal.

【그림 7】 CIE 6.8 원문 내용

KSC, CIE에서는 입구부를 경계부(L_{th})와 이행부(L_{tr})로 구분하여 경계부는 길이로 이행부는 시간(초)로 정의하여 경계부(속도별 안전 정지거리(SD))를 지나서는 어떻게 하면 즉 얼마 정도의 시간(초)이 지나면 운전자가 터널내 조명(기본부)에 도달할 수 있는가를 중요하게 생각하는 것이다. 즉 입구부 휘도를 100%로 생각할 때 설계 속도별 안전 정지거리 정도를, 터널 내부를 지나면 운전자가 터널내의 조건에 순응하는 데 적정하다고 보아 약 40%에서부터 L_{tr} = L_{th} × (1.9+t)^{-1.4}에 따르도록 되어 있다. 즉 18초 후에는 어느 설계 속도이든 약 1.5%에 도달된다. 즉 이행부 시작점에서 60km/h일 때는 300m, 80km/h일 때는 400m, 100km/h일 때는 500m, 120km/h일 때는 600m 지나면 휘도%가 1.5%에 도달되도록 구형되어 있는 것이다. 이러한 개념을 토대로 설계속도, 교통량 등을 감안하여

기본부의 휘도%를 적용하면 이행부의 길이가 확정되는 것이다.

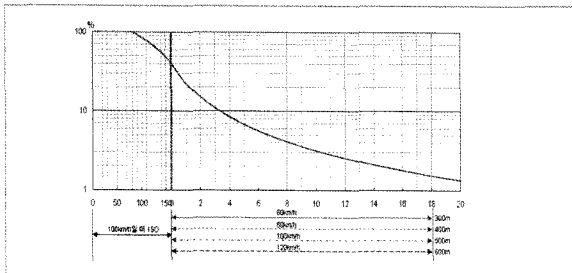


【그림 8】 CIE 입구부 곡선 - 거리와 시간(초)을 하여 표기

【표 2】 CIE 표 6.7.1 설계속도 100km/h, 60km/h일 때의 기본부 휘도(예)

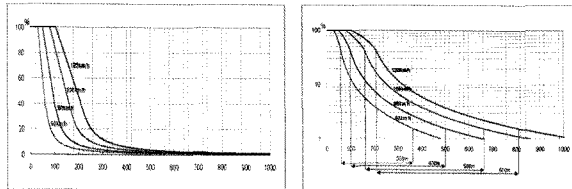
Stopping Distance (m)	LONG TUNNELS Traffic flow [vehicles/hour/lane]	
	Low	Heavy
160 m	6	10
60 m	3	6

위의 내용을 실제로 구현해 보면 아래와 같다.



【그림 9】 속도 100km/h일 때 안전 정지거리 구현하여 KSC 그림3 구현

또 위 내용은 경계부는 거리(m)로, 이행부는 시간(초)로 표현되어 있는데 이를 모두 거리(m)로 나타내고 설계속도 120km/h, 100km/h, 80km/h, 60km/h에 대한 곡선을 한꺼번에 나타내면 아래와 같다.



【그림 10】 세로축을 보통 눈금으로 구현

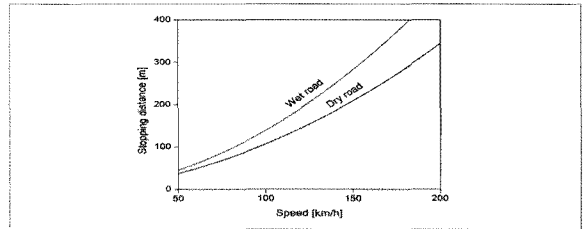
【그림 11】 세로축을 대수 눈금으로 구현

3. CIE88을 이용한 외국 설계 사례

아래에 외국에서 CIE88에 의한 설계 사례와 적용된 내용을, 입수된 내용을 중심으로 설명한다.

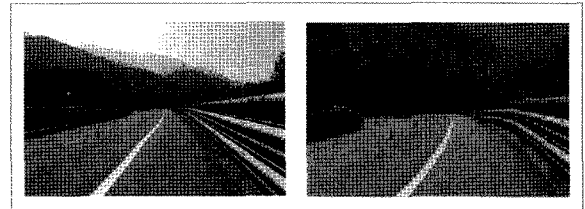
안전 정지 거리와 설계 속도 관계에서 노면의 상태 - 건조된 노면과 젖은 노면 - 에 따라 안전 정지 거리가 서로 다르게 적

용함을 나타낸 것이다. 여기에는 지역의 기후 변화를 중심으로 기상청의 자료를 받아 적용할 수 있는 대목이다.



【그림 12】 노면의 상태에 따른 안전 정지 거리 적용 곡선

다음은 똑 같은 터널 입구를 속도를 달리하여 카메라로 촬영한 것이다. 이는 국내 KSC의 그림 2 터널의 주변 경관과 하늘의 비율의 경우 속도 표현이 없는 데 속도 표현과 병행하여야 할 것이다.

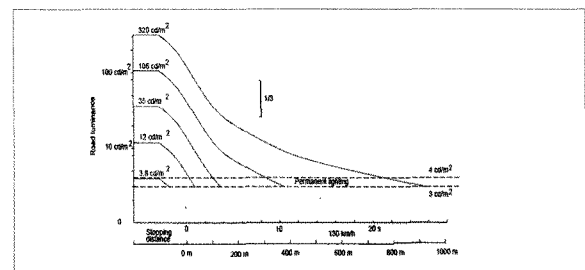


【그림 13】 시속 70km/h와 130km/h로 정지거리에서 터널 입구를 보았을 때 차이

다음은 터널 입구부의 휘도를 320cd/m²로 계산된 터널의 5단계 제어도를 나타낸 것이다.

여기서 유의할 것은 상위 단계와 하위 단계를 3:1로 나누고 있음을 유의하기 바란다.

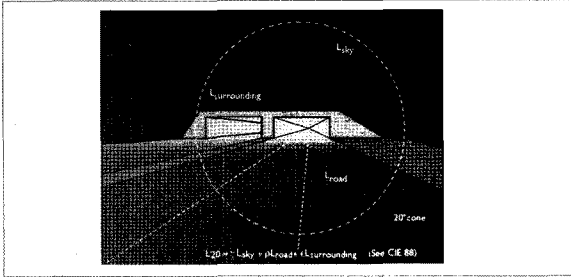
KSA에서는 앞에서 언급한 바와 같이 100%, 75%, 50%, 25%, 기본 조명으로 구분한 것과는 상당히 차이가 있음을 보여주고 있다.



【그림 14】 휘도에 의한 5단계 제어 설계 예

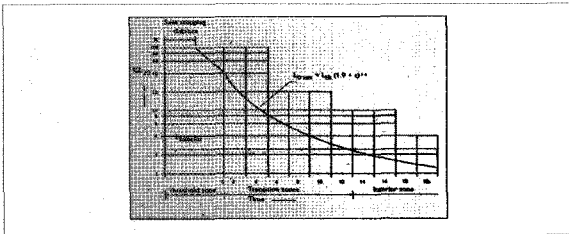
다음은 L₂₀법으로 입구부의 휘도(L_{th})를 계산하는 방법을 예시한 것이다. 입구부의 휘도는 터널 조명 설계의 기준이 되는 사항으로 아주 중요하여 CIE에서도 3가지 방법을 제시하고 있는 것이다.

그 방법 및 사용 요령을 습득하여 적용함이 중요하다고 본다.



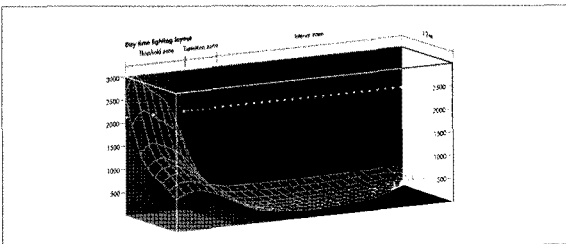
【그림 15】 CIE에서 제시한 L20법에 의한 Lth 계산(예)

다음은 입구부의 적용 사례이다. CIE 그림 3을 그대로 구현하여 적용하고 있으며 왼쪽에 %L20'이라 표현하여 L20 법으로 Lth를 계산하였음을 표시하고 있다.



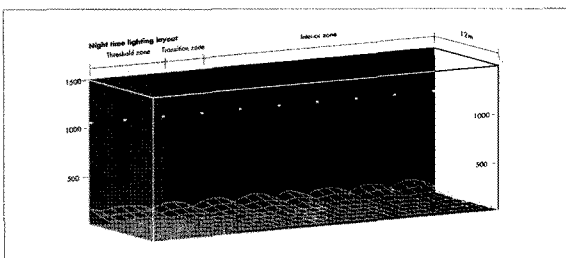
【그림 16】 각 영역별 터널 조명곡선 구현(예)

다음 그림은 입구부 경계부와 이행부의 조명 상태를 입체적으로 표현한 예이다. 세로축은 조도(Lx)로 표현하였음과 3차원으로 표현하려는 노력임에 유의 바란다.



【그림 17】 입구부 조명의 입체적 표현

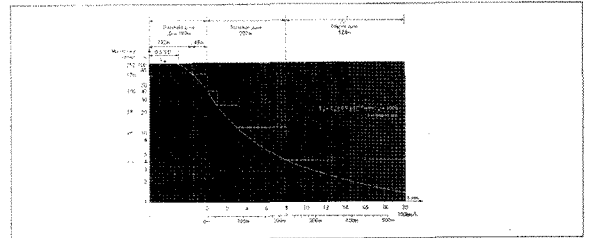
다음은 기본부의 조명 상태를 입체적으로 표현한 것인데 여기에서 등기구간의 간격에 따라 플리커에 대한 내용이 포함되어 있음을 참고 바란다.



【그림 18】 기본 조명에 대한 배광 곡선적인 개념도

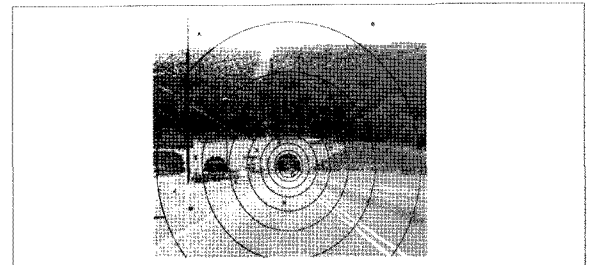
다음은 설계 속도 100km/h에 대해 입구부의 휘도를 252cd/m²으로 계산된 내용을 '휘도%'와 병기하여 1단계 설계 예를 나타낸 것이다.

경계부의 안전 정지거리에서 제 1 구간을 132m로, 2단계를 48m로 정하였으며 연속적으로 그래프에 적용한 것을 참고 바라며 이들 구간은 구간길이가 서로 다름도 유의하기 바란다. 그 이유는 그래프를 그려보면 쉽게 이해할 것이다.



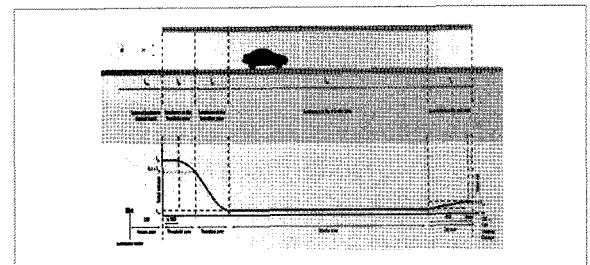
【그림 19】 입구부 1단계 설계 예

다음은 CIE88_2004의 본문에 수록된 Veiling Luminance Method를 소개한 것이다. 여기서는 Lseq를 계산하여 Lth를 계산해 내는 것이다.



【그림 20】 CIE88 Veiling Luminance Method

다음은 입구부, 기본부, 출구부 전체를 CIE 본문에 충실하게 적용하여 CIE 그림3을 확대하여 작성한 예이다. 특히 출구부에는 출구 전방 20m까지는 선형적으로 구현하였고 나머지 20m는 동일 휘도(직선)으로 표현되어 있음을 유의 바란다.



【그림 21】 CIE에 의한 입구부 - 출구부까지의 곡선 설계(예)

▶▶ 다음호에 계속